УДК 621.791.03

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ ЗАДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО ПОДАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА С КВАЗИВОЛНОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ ПРОВОЛОКИ

В.Т. Федько, О.Г. Брунов, А.В. Крюков, В.В. Седнев

Юргинский технологический институт ТПУ
Тел.: (384-51)-2-26-83

Произведена оптимизация геометрических параметров задающего звена механизма импульсной подачи сварочной проволоки для стабилизации горения дуги и реализации стабильного переноса электродного металла в сварочную ванну. Получена зависимость для реализации адаптации процесса с использованием обратной связи по частоте вращения вала электродвигателя привода подачи.

Сварка в защитной атмосфере CO_2 является самым распространенным способом сварки плавлением при производстве металлоконструкций. Но такой недостаток как повышенное разбрызгивание электродного металла ограничивает его применение [1].

Одним из способов уменьшения разбрызгивания является управление переносом электродного металла в сварочную ванну посредством нестационарного энергетического (импульсное питание дуги), либо механического (импульсная подача сварочной проволоки) воздействия на каплю [1].

На рис. 1 представлено устройство для реализации импульсной подачи с квазиволновым движением сварочной проволоки.

Основной проблемой реализации квазиволновой подачи является выбор оптимальных параметров задающего механизма (кулачка), обеспечивающего необходимый закон движения выходного механизма (штока).

Кулачок, применяемый в механизме, рис. 1, является пространственным, рис. 2. Но, поскольку выходное звено совершает движение только в одной плоскости и ограничено в движении в других плоскостях, можно сделать допущения и привести его к плоскому виду, рис. 3.

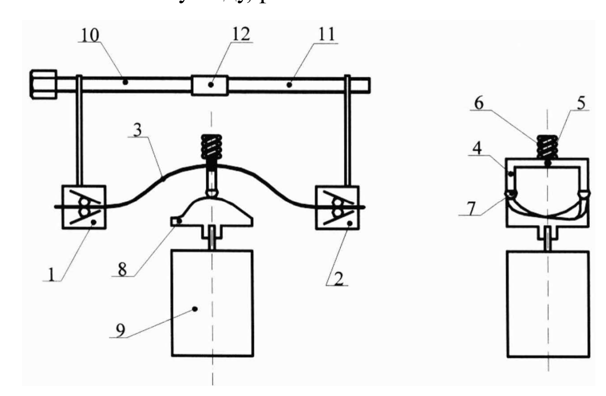


Рис. 1. *Механизм импульсной подачи сварочной проволоки: 1, 2) захваты; 3) проволока; 4) шток; 5) сменная втулка; 6) возвратная пружина; 7) ролики; 8) кулачок; 9) электродвигатель, 10, 11) регулировочные винты, 12) муфта*

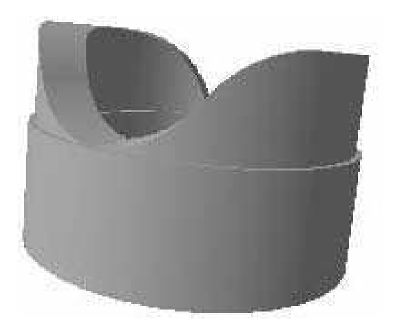


Рис. 2. *Кулачковый механизм*

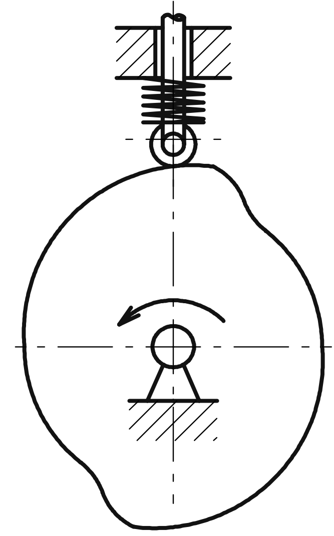


Рис. 3. *Кинематическая схема задающего механизма*

Пользуясь методикой [2], принимаем закон движения косинусоидальным, для которого справедливы следующие зависимости:

– перемещение выходного звена на фазе подъема, м:

$$S_n = \frac{h}{2}\left(1 - \cos\frac{\pi}{\varphi_n}\varphi_i\right),$$

где h – максимальный ход толкателя, м; φ_n – фазовый угол подъема кулачка (φ_n=30°); φ_i – угол в пределах φ_n;

– скорость выходного звена на фазе подъема, м/с:

$$V_n = \frac{\pi h}{2\varphi_n}\sin\frac{\pi}{\varphi_n}\varphi_i;$$

– ускорение выходного звена на фазе подъема, м/с^2:

$$a_n = \frac{\pi^2 h}{2\varphi_n^2}\cos\frac{\pi}{\varphi_n}\varphi_i.$$

Для угла опускания соответственно заменим φ_n на φ_o и получим:

$$S_o = \frac{h}{2}\left(1 - \cos\frac{\pi}{\varphi_o}\varphi_i\right),\quad V_o = \frac{\pi h}{2\varphi_o}\sin\frac{\pi}{\varphi_o}\varphi_i,$$

$$a_o = \frac{\pi^2 h}{2\varphi_o^2}\cos\frac{\pi}{\varphi_o}\varphi_i. \qquad (1)$$

Как видно из (1), перемещение, скорость и ускорение зависят от фазовых углов подъема и опускания или, другими словами, от времени паузы t_n и времени импульса t_u подачи сварочной проволоки.

Поскольку угловая скорость вращения кулачка постоянна ($\omega=\varphi/t$), то справедливо соотношение:

$$\frac{t_n}{t_o} = \frac{\varphi_n}{\varphi_o}. \qquad (2)$$

Это соотношение определяет стабильность процесса импульсной подачи.

Для реализации соотношения (1) должны выполняться следующие условия.

1) Исходя из равенства скоростей подачи и плавления, для стабилизации горения дуги время паузы должно быть равно:

$$t_n = \frac{\lambda}{V_{пл}}, \qquad (3)$$

где λ – шаг подачи, м; $V_{пл}$ – скорость плавления электродной проволоки, которую можно определить следующим образом. Из [3] известно, что теплота плавления металла, Дж:

$$Q_{пл.} = qm, \qquad (4)$$

где q – удельная теплота плавления, Дж·кг$^{-1}$; m – масса расплавленного металла, кг.

Известно, что закон Джоуля-Ленца с учетом тепла, используемого для плавления электродной проволоки [4] дает:

$$Q_{пл.} = kIUt, \qquad (5)$$

где k – эмпирический коэффициент (для расчетов принят за 0,25); I – сварочный ток, А; U – напряжение, В; t – время прохождения тока, с.

Из (4) и (5) получаем формулу для определения скорости плавления электродной проволоки:

$$V_{пл.} = k\frac{IU}{\pi d^2\gamma q}, \qquad (6)$$

где γ – плотность металла, кг/м^3; d – диаметр электродной проволоки, м.

Выражение (6) показывает функциональную зависимость скорости плавления тока от мощности сварочной дуги $V_{пл.}=f(I{\cdot}U)$. В данном случае не учитывается подогрев вылета электрода проходящим током. Известно [4], что подогрев вылета электрода джоулевым теплом выражается:

$$dQ_в = I^2\rho\frac{l}{S}dt, \qquad (7)$$

где c – удельное сопротивление металла, Ом·м; l – длина вылета, м; S – площадь сечения электрода, м^2.

Учитывая, что в установившемся процессе параметры режима сварки (длина и температура вылета электрода) во времени практически не меняются, из (7) с учетом (4) получим:

$$V_{пл.} = 16\frac{I^2\rho l}{\pi^2 d^4 q\gamma}. \qquad (8)$$

Суммируя формулы (6) и (8) и вводя известные значения теплофизических величин, получим аналитическую зависимость скорости плавления проволоки от режимов сварки:

$$V_{пл.} = 1{,}33 \cdot 10^{-7} \frac{I \cdot U}{d^2} + 7{,}56 \cdot 10^{-10} \frac{I^2 \rho l}{d^4}.$$

При несоблюдении условия (1) процесс сварки не будет стабильным, т.к. при:

1. $t_n < \dfrac{\lambda}{V_{пл}}$ процесс сварки будет прерывистым из-за возможности обрыва дуги;
2. $t_n > \dfrac{\lambda}{V_{пл}}$, в этом случае скорость подачи проволоки будет выше скорости ее плавления.

2) Для сообщения капле расплавленного электродного металла необходимых значений скорости и ускорения, т.е. реализации стабильного переноса металла в сварочную ванну необходимо выполнить условие [5]:

$$t_u = 2\sqrt{\frac{2\lambda}{a}}, \qquad (9)$$

где a – ускорение, сообщаемое капле, м/с^2.

Если соотношение (9) не выполняется, то при:

1. $t_u > 2 \cdot \sqrt{\dfrac{2 \cdot \lambda}{a}}$, сила инерции не сможет нарушить баланс сил, действующих на каплю, и она не перейдет в сварочную ванну, и при дальнейшем увеличении объема оторвется от торца электрода под действием силы тяжести, независимо от действия управляющего воздействия.
2. $t_u < 2 \cdot \sqrt{\dfrac{2 \cdot \lambda}{a}}$, при соударении с металлом сварочной ванны каплю под воздействием сил пинч-эффекта вытолкнет из зоны сварки, либо капля разобьется на более мелкие брызги вследствие превышения силой соударения сил поверхностного натяжения.

Ускорение a можно представить как:

$$a = \frac{V_o}{t_t},$$

где V_o – скорость выходного звена задающего механизма в конце спуска, равное [3]:

$$V_o = \omega \frac{d_k}{2},$$

где d_k – диаметр кулачка (выполнение, рис. 2), м; t_t – время торможения, с, равное [5]:

$$t_t = \frac{1}{2} t_u.$$

Таким образом, формула (9) примет вид:

$$t_И = 76{,}39 \frac{\lambda}{nd_k},$$

где n – число оборотов электродвигателя.

Окончательно отношение (2) примет вид:

$$\frac{t_n}{t_u} = 76{,}39 \frac{V_{пл.}}{nd_k}. \qquad (10)$$

В таблице представлены значения параметров режима сварки, полученных с учетом зависимости (10).

Таблица. *Изменение режимов сварки с квазиволновым импульсным движением сварочной проволоки при изменении напряжения питания дуги при заданных начальных условиях: $\varphi_п/\varphi_о$=0,256; λ=1,6 мм*

n, об/мин	*V*, м/ч	*I*, А	*U*, В
3900	470	300	29,0
3700	440	290	28,5
3400	420	280	28,0
3200	400	270	27,5
3000	370	260	27,0
2800	340	250	26,5
2600	320	240	26,0
2400	290	230	25,5
2200	270	220	25,0
2100	250	210	24,5
1900	230	200	24,0

На практике отношение (10) является величиной постоянной, т.к. его изменение осуществимо только заменой кулачка, поэтому целесообразно проводить адаптацию частоты подачи импульсов к напряжению источника питания для стабилизации процесса сварки, т.к. при небольшом изменении напряжения происходит существенное изменение частоты вращения вала электродвигателя.

Выводы

1. Для регулировки процесса сварки при использовании механизма с квазиволновым движением проволоки целесообразно применение обратной связи по частоте вращения электродвигателя, т.к. частота подачи импульсов меняется даже при незначительном изменении напряжения сварочной дуги.
2. Для обеспечения стабильного процесса сварки соотношение между фазовыми углами подъема и опускания кулачка должно быть равно $\dfrac{t_n}{t_u} = 76{,}39 \dfrac{V_{пл.}}{nd_k}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федько В.Т. Дуговая сварка плавлением: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1994. – 241 с.
2. Волокитин Г.Г., Кузьменко Н.И., Филиппов В.Ф. Теория механизмов и механика машин: Учебное пособие / Под ред. В.Ф. Филиппова. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2000. – Ч. 2. – 173 с.
3. Кухлинг Х. Справочник по физике. – М.: Мир, 1982. – 519 с.
4. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.
5. Федько В.Т., Брунов О.Г., Крюков А.В. Импульсно-дуговая сварка с короткими замыканиями как частный случай сварки с импульсной подачей проволоки // Современные проблемы машиностроения: Труды II Междунар. научно-техн. конф. – Томск, 8–10 декабря, 2004.